

Strutture in Calcestruzzo

# Tecniche di misura dello stato tensionale

FOCUS SULLA CAROTA STRUMENTATA E SUL PROVINO TRONCO PIRAMIDALE, OVVERO DUE TECNICHE INNOVATIVE CHE CONSENTONO, OGGI, DI ACCRESCERE LA CONOSCENZA DELLO STATO TENSIONALE DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO, IN QUANTO SFRUTTANO IL RILASCIO TENSIONALE E LO RENDONO APPLICABILE ANCHE A ELEMENTI ARMATI COME LE TRAVI PRECOMPRESSE DA PONTE. DI SEGUITO, PRESENTIAMO I RISULTATI (DECISAMENTE SODDISFACENTI) DI UN PROGETTO DI RICERCA APPLICATIVA AD HOC.

La conoscenza dello stato tensionale di un elemento strutturale è fondamentale per una corretta valutazione delle condizioni di lavoro, e quindi di sicurezza, di una struttura. La sua misura, di natura sperimentale, permette di migliorare la calibrazione del modello numerico, rendendo così più affidabili i risultati teorici. Se ci riferiamo, ad esempio, alla conoscenza delle sollecitazioni dei pilastri di fondazione di un edificio, dove il naturale assestamento nel tempo comporta un riallineamen-

to dei carichi teorici, la conoscenza dello stato di tensione reale, confrontata con la resistenza ultima del materiale, permette di valutare il livello di sicurezza e lo spazio di sollecitazione ancora accettabile a fronte di eventi straordinari come quelli sismici [1] [2]. Capita spesso infatti che i risultati delle prove in laboratorio dei prelievi di carote di calcestruzzo forniscano valori scadenti, come 10-15 MPa, ma questo risultato, sia pur fuori norma, potrebbe essere compatibile a fronte di condizioni di lavoro in esercizio

**Settimo Martinello**  
4 EMME Service SpA

1. Infradosso di un impalcato



**Materiali**

dell'elemento strutturale molto bassi. Valori che appunto ci si prefigge di misurare direttamente nel punto di prelievo. La possibilità di misurare lo stato tensionale in esercizio è altrettanto interessante nel caso delle travi precomprese, dove i fenomeni di degrado possono ridurre, nel tempo, lo stato di precompressione all'intradosso e quindi produrre una condizione che comporta, attraverso i carichi di esercizio, uno stato tensionale di trazione con possibili fessurazioni. Quanto premesso rende l'idea dell'utilità di avere metodi sperimentali per la misura dello stato tensionale in esercizio sia di elementi strutturali fondamentali, come pilastri e travi di edifici, che di elementi in condizione di massima sollecitazione, come le mezzerie delle travi precomprese da ponte.

In questo articolo, vengono presentate due innovative tecniche di misura dello stato tensionale: la *Carota strumentata* e il *Provino tronco piramidale*. Esse sfruttano la tecnica del rilascio tensionale, che era già nota, ma non aveva ad oggi una soluzione esecutiva affidabile e, nei casi come le travi da ponte, risultava impossibile da applicare a causa della quantità di armature presenti. Queste metodologie esecutive sono state sviluppate nel corso del 2020, all'interno di un progetto di ricerca che mirava ad individuare soluzioni per valutare le condizioni reali di conservazione dei viadotti delle autostrade. I risultati delle campagne di prova hanno dimostrato la validità della metodologia fornendo ai professionisti incaricati della valutazione della sicurezza delle opere uno strumento affidabile per la migliore validazione dei modelli numerici.

## Il rilascio tensionale

La tecnica di rilascio tensionale, che è il punto di partenza delle due tecniche innovative qui presentate, è nota. Consiste nel misurare la deformazione  $\epsilon$  relativa del calcestruzzo all'interno della circonferenza di taglio di una carota di prelievo. Si basa sulla teoria che lo stato tensionale  $\sigma$  preesistente provoca una variazione deformativa  $\epsilon$  in proporzione al carico applicato ed al Modulo elastico  $E$  del materiale, attraverso la relazione di Hooke  $\sigma = E \epsilon$ . Pertanto, nel momento in cui si esegue il carotaggio, man a mano che la carotatrice avanza, lo stato tensionale del provino si modifica andando infine ad annullarsi e producendo una deformazione di segno opposto a quella preesistente, appunto il rilascio tensionale. La misura della deformazione viene eseguita attraverso l'applicazione di estensimetri (strain gauges) posti sulla superficie, all'interno della circonferenza di taglio, nelle direzioni in cui si ritiene si sviluppi la sollecitazione. Questa operazione presentava due difficoltà che ne impedivano, sostanzialmente, l'utilizzo.

- La prima difficoltà è legata al fatto che la misura di deformazione attraverso estensimetri è una misura molto delicata, con valori parametrici esigui, espressi in microVolt. Vanno considerate le numerose possibili anomalie prodotte dalle vibrazioni sul provino, dall'acqua impiegata per il taglio, ecc. Inoltre, la prova rileva il valore della Resistenza elettrica solo in due momenti, prima e dopo il taglio, esprimendo il rilascio tensionale come differenza tra questi due valori. Queste considerazioni rendevano il risultato di questa prova non affidabile, in particolare, nei casi in cui i valori risultano "allarmanti" e comportano decisioni drastiche.

- La seconda difficoltà nasce dall'impossibilità di eseguire la prova nei punti di massima sollecitazione (come la mezzzeria delle travi precomprese). Infatti, la presenza delle armature limita la scelta della posizione di carotaggio a zone con ridotta armatura e molto sensibili al danno strutturale che la carota provoca.

Queste due difficoltà hanno relegato l'idea del rilascio tensionale a una semplice possibilità non trasformata in una reale tecnica diagnostica in sito. Difficoltà che sono oggi superate attraverso un sistema di acquisizione in continuo durante il prelievo delle carote, metodologia che prende il nome di Carota strumentata, e con la tecnica del prelievo di Provini tronco piramidali nel caso delle travi precomprese dove l'armatura è così densa che non permette il carotaggio.

## Fenomeni di degrado

La precompressione si realizza mettendo in trazione cavi di acciaio appositamente inseriti nel getto. Rilasciando i cavi si trasferisce la compressione sul calcestruzzo. Poiché le travi in essere queste subiscono una serie di fenomeni "naturali" che comportano una sensibile riduzione dello stato di compressione dell'intradosso. Al di là dell'applicazione dei pesi propri, che provoca un effetto di trazione all'intradosso, il fenomeno del ritiro comporta per sua natura una riduzione della precompressione che si sviluppa nell'arco di diversi mesi successivi al getto. Nel proseguo della vita dell'impalcato si manifestano fenomeni legati al processo di carbonatazione con conseguente ossidazione, e in alcuni casi corrosione, delle parti metalliche. Questo fenomeno degradante comporta una riduzione dell'aderenza tra armatura e calcestruzzo, distribuita o puntuale, producendo intrinsecamente una riduzione dello stato di precompressione. Nei lunghi periodi, decine di anni, si sviluppa anche il fenomeno del rilassamento dei cavi d'acciaio dovuto all'alto numero di oscillazioni subite. Oscillazioni che alternando diversi stati tensionali producono una riduzione dello stato di trazione dei cavi e di conseguenza di compressione del calcestruzzo. Per lo studio delle condizioni di degrado, generalmente individuate nella corrosione dei cavi o nella incompleta iniezione delle guaine, sono attualmente impiegate diverse tecnologie: tomografia ultrasonica, prove riflettometriche, radiografia, endoscopia [3]. Lo scopo di queste tipologie di indagine è quello di individuare l'entità e la posizione dei difetti, che costituiscono la causa che provoca la riduzione della precompressione. Le tecniche indicate sono esecutivamente complesse nel caso delle travi da ponte, sia per l'ampiezza delle superfici in studio sia per il fatto che spesso le travi sono accoppiate e quindi poco accessibili. Inoltre, offrono solo una stima dello stato di corrosione, difficilmente correlabile con la riduzione di precompressione provocata da tali fenomeni. Ecco che rilevare direttamente lo stato di precompressione, cioè valutare la conseguenza dei fenomeni di degrado, è un procedimento più affidabile in termini interpretativi.

La tecnica del rilascio tensionale, una volta trovate le soluzioni pratiche che ne permettano l'impiego, si può considerare una soluzione ideale sia per l'importanza della risposta sia per il costo ridotto rispetto alle tecniche diagnostiche accennate.



2. Esecuzione di una carota su pilastro



### Sviluppo dello strumento di rilievo

Il primo obiettivo del lavoro di ricerca è stato incentrato nel risolvere il primo dei due problemi fondamentali descritti in premessa: registrare i dati in continuo durante l'esecuzione della carota.

È stato così sviluppato uno strumento di piccole dimensioni che ha la possibilità di alimentare estensimetri, memorizzare i dati, funzionare a batteria, non subire effetti a causa delle vibrazioni e soprattutto essere stagno. Il processo di sviluppo tecnologico ha visto la sperimentazione di diversi prototipi e il risultato finale denominato "Tensometer" offre tutte le caratteristiche richieste.

Esternamente si presenta come un cilindro di diametro 70 mm e altezza 100 mm. Dalla parte di fissaggio alla parete porta una guarnizione e dalla parte opposta una porta USB per il collegamento ad un'applicazione che consente di attivarlo, modificarne i parametri di lettura e scaricare i dati. Il Tensometer porta sul fronte di contatto con la parete due

morsetti a presa rapida per un facile collegamento ai cavi degli estensimetri. Due fori lungo lo spessore del contenitore cilindrico consentono l'introduzione di due viti che permettono il fissaggio tramite tasselli. Sulla testa porta un "tappo" svitabile, ma a tenuta stagna, che consente di aprire lo strumento e sostituire la batteria. Una seconda versione, denominata "Tensometer online", gestisce la trasmissione dati in sistema telemetrico con mini-antenne ceramiche, consentendo di trasferire i dati in tempo reale pur rimanendo all'interno della carotatrice.

### La sperimentazione con carota strumentata

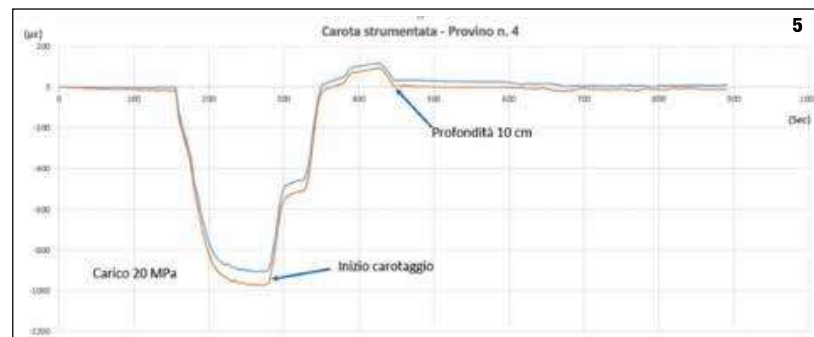
Per una prima fase di studio sono stati predisposti 4 provini in calcestruzzo, di dimensioni 40 x 25 x 60 cm, con diverse caratteristiche di resistenza meccanica. I provini sono stati strumentati con 2 estensimetri affiancati in direzione verticale nel centro di entrambe le facce 40 x 60. Su una faccia, quella del carotaggio, è stato montato il Tensometer, mentre sull'altra faccia, i due estensimetri sono stati collegati ad un Datalogger di acquisizione dati. I provini sono stati posti a compressione sotto una pressa, portando la forza a 2.000 kN, corrispondente ad una sollecitazione di 20 MPa. Tale forza ha prodotto deformazioni relative tra 800 e 1.000  $\mu\epsilon$ . L'operazione è stata eseguita interrompendo l'avanzamento della carotatrice ogni 2 cm in modo da cogliere il momento del completo rilascio dello stato tensionale.

Il grafico di fig. 5 evidenzia l'andamento deformativo del centro del provino attraverso la lettura dei due estensimetri frontali monitorati con il Tensometer. Si osserva la fase di carico prodotta dalla pressa, che provoca una deformazione relativa

### 3. Montaggio del Tensometer

### 4. Esecuzione di una carota su pilastro

### 5. Andamento della deformazione relativa durante la fase di carotaggio

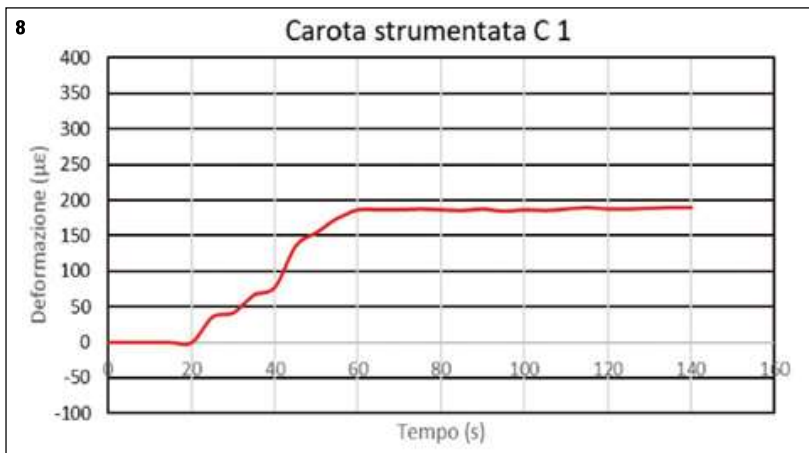


### 6. Sequenza esecutiva della prova in laboratorio

### 7. Estrazione di una carota strumentata



### 8. Deformazione relativa media rilevata deformazioneEstrazione



finale attorno ai 900 µε. L'inizio del carotaggio provoca, per effetto del rilascio, una rapida riduzione della deformazione che coi primi 2 cm di profondità è di circa il 40%. Il completo rilascio si sviluppa a circa 10 cm di profondità.

Le prove eseguite sui diversi provini hanno mostrato come il rilascio completo tenda a mostrarsi a profondità maggiori man mano che aumenta la resistenza del materiale. Certamente l'estrazione della carota garantisce il completo rilascio tensionale. Nel caso di una prova in campo la misura della deformazione parte da un azzeramento iniziale dei valori di misura. Pertanto, nel caso di una struttura compressa, il rilascio prodotto dall'estrazione della carota produce una deformazione espansiva, dove la deformazione relativa risulta "positiva" (vedi fig. 8). Il valore rilevato dovrà essere pertanto invertito di segno.

### 9. Campate a travi precomprese

### 10. Direzione dei tagli

### 11. Provino tronco piramidale

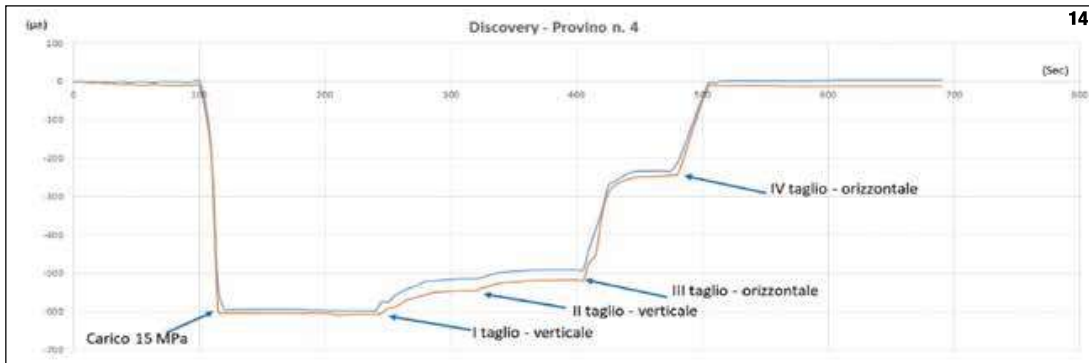
### 12. Impronta lasciata dall'estrazione

### 13. Provino tronco piramidale

## Rilascio tensionale con provino tronco piramidale

Come spiegato in premessa, non sempre è possibile estrarre una carota, sia per la densità delle armature presenti sia per non danneggiare eccessivamente la struttura in punti particolarmente sollecitati. Questa condizione si presenta spesso, ed in particolar modo, nel caso delle travi precomprese nella zona di mezzera all'intradosso, dove la sollecitazione derivante dai carichi accidentali è massima. Per ovviare a questa difficoltà, si è proceduto ad una serie di prove di laboratorio per individuare una forma di provino estraibile che potesse limitarsi ad una profondità di pochi millimetri. La soluzione individuata, che ha fornito la migliore risposta nel garantire il completo rilascio e il minimo danneggiamento, è stata la forma del quadrato tronco piramidale. Dopo l'esecuzione dei tagli, il provino tronco piramidale infatti risulta collegato alla struttura per una piccola sezione e è quindi estraibile applicando un minimo sforzo. Lo spessore del provino risulta di circa 24 mm, fatto che rende possibile eseguire la prova





14. Andamento della deformazione relativa durante le quattro fasi di taglio

anche in presenza di armature purché, ovviamente, il copri-ferro sia adeguato. La tecnica esecutiva prevede l'applicazione sulla superficie della trave, nel punto di misura di interesse, di una coppia di estensimetri disposti in direzione orizzontale adiacenti l'uno all'altro.

La fase successiva consiste nell'isolare una porzione dell'elemento strutturale mediante quattro tagli prodotti sui lati di un quadrato 60 x 60 mm.

I tagli sono eseguiti con una direzione di 45° verso l'interno, figura 9, in modo da realizzare un elemento tronco-piramidale con una sezione di testa estremamente ridotta, tale da garantire il completo rilascio delle deformazioni incorporate. La deformazione,  $\epsilon$ , misurata dagli estensimetri nella porzione isolata è uguale in segno contrario alla deformazione relativa derivante dalla precompressione e dai carichi permanenti. Sono state eseguite diverse prove in laboratorio, in una prima fase operando con un taglio manuale e successivamente attraverso una apparecchiatura elettromeccanica, denominata "Discovery", che consente di effettuare tagli precisi, sempre alla distanza di 60 mm, perfettamente ortogonali ed a 45° verso l'interno.

L'uso di una macchina si è dimostrato fondamentale per ottenere dei provini precisi e ripetibili. Lo studio si è sviluppato imponendo una compressione di 1,500 kN pari a 15 Mpa. Nel centro del punto di prova sono stati incollati 2 estensimetri affiancati in direzione verticale, collegati con un Datalogger installato nel Discovery che consente, attraverso un collegamento wireless, di seguire l'andamento, l'effetto del rilascio tensionale, e quindi della deformazione relativa, in tempo reale. I 4 tagli vengono eseguiti in successione lasciando 60 secondi di tempo tra uno e l'altro per poter valutare l'effetto di ogni singolo taglio.

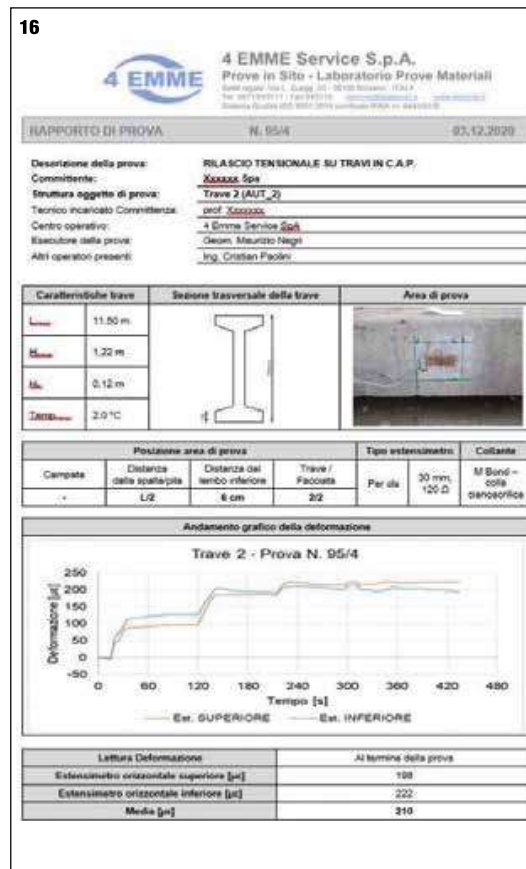
In fig. 14 è possibile osservare l'evolversi della deformazione relativa di rilascio tensionale di una prova in laboratorio. La tecnica di prova di rilascio con provino tronco piramidale è stata ampiamente sperimentata su diverse travi precomprese di ponti autostradali eseguendo complessivamente oltre 100 prove. Di seguito si riporta l'esempio di un Rapporto di prova ad indicare lo schema delle informazioni che sono necessarie per una corretta interpretazione dei risultati. La prova di rilascio sulla trave può essere eseguita sia lateralmente che all'intradosso.

In ogni caso, se si utilizza il By-bridge è necessario tenere conto della riduzione della compressione provocata dal peso



15. Fasi esecutive di una prova di rilascio con provino tronco piramidale

16. Rapporto di prova

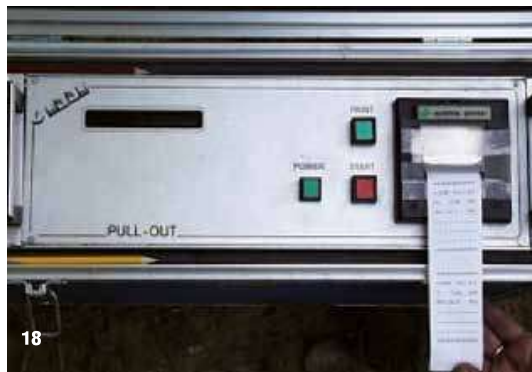


### 17. Prove di Pull-out in zona di rilascio

### 18. Stampa in sito dei risultati del Pull-out

### 19. Andamento della temperatura dei diversi componenti di una trave

### 20. Linea di tendenza previsionale dello stato di compressione



del mezzo sovrastante. Effetto che è valutabile attraverso una misura della deformazione relativa durante l'ingresso in campata del mezzo. Questo valore dovrà essere aggiunto a quello rilevato dalla prova di rilascio.

### Interpretazione dei risultati

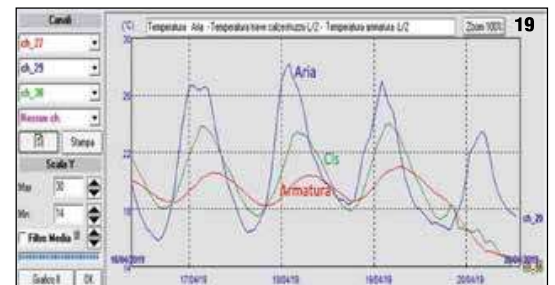
Chi opera nel settore dei controlli del materiale conosce la difficoltà interpretativa dei risultati ottenuti dalle prove sul calcestruzzo. Difficoltà che si presentano nella interpretazione dei risultati sia di laboratorio che delle prove in sito. Il calcestruzzo è un materiale disomogeneo, le cui caratteristiche possono cambiare sensibilmente anche in aree limitate. È per questo che le norme prevedono più misure e tecniche di elaborazione basate sulle medie per le prove di Resistenza sulle carote (o cubetti), Pull out, Sclerometro, ecc. Questa osservazione è la ragione per cui nella prova di rilascio si ritiene opportuno effettuare almeno due misure per singola direzione. In questo modo si ha una garanzia di affidabilità dei valori letti, in quanto ci si deve aspettare andamenti omogenei delle due curve rappresentative della deformazione. L'affidabilità del risultato della prova di rilascio è fondamentale, in quanto in taluni casi, il rilievo della sollecitazione su un elemento strutturale può rappresentare un fattore di allarme se il valore letto ha poca corrispondenza con l'atteso o un rapporto troppo piccolo rispetto alla sua Resistenza. Il passaggio da deformazione relativa a sollecitazione avviene attraverso il Modulo elastico. Valore che è stimabile attraverso la formula indicata nelle norme basata sulla Resistenza a compressione:

$$E = 22000 \cdot \left( \frac{R_{c\_sito}}{10} \right)^{0,3}$$

È consigliabile effettuare delle prove di stima della resistenza del calcestruzzo in vicinanza al punto di esecuzione del rilascio. Sono particolarmente indicate le prove di Pull out, che provocano un danno limitato e che, tra le varie prove in situ sul calcestruzzo, rappresentano quelle più affidabili [3].

### Monitoraggio dello stato di precompressione

La tecnica del rilascio tensionale con Provino tronco piramidale, che consente la misura dello stato di precompressione "attuale" delle travi precomprese dei ponti, apre la possibilità al Monitoraggio di questo parametro partendo appunto dal valore ottenuto dall'indagine in sito. Conosciuta la sollecitazione di compressione all'intradosso "attuale" è possibile monitorare l'andamento nel tempo della deformazione relativa utilizzando la stessa tipologia di strumenti, gli estensimetri. Posizionando gli estensimetri in prossimità delle zone dove è stata eseguita la prova di rilascio si potrà ottenere la variazione di questo parametro nel tempo, tenendo così sotto controllo i fenomeni di degrado che tendono a ridurre lo stato di precompressione. Tale metodologia di controllo è molto più semplice e meno costosa delle tecniche di monitoraggio dinamiche che vogliono comprendere lo stato tensionale attraverso la misura delle frequenze proprie [5]. Va sottolineato che la misura della deformazione relativa è influenzata dal comportamento termico della struttura. Le strutture, infatti, subiscono vari fenomeni deformativi conseguenti alla variazione di temperatura. Il più importante è la dilatazione termica del materiale, a cui si somma l'effetto "girasoole" derivante





21. Fasi di installazione di un monitoraggio estensimetrico

22. Immagine dei tecnici impegnati nella prima prova con provino tronco piramidale

dalle deformazioni differenziate provocate dall'irraggiamento solare sulle singole superfici, e altri fenomeni minori, tra cui l'effetto di mutua sollecitazione provocata dal diverso coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo rispetto a quella dell'acciaio. Valori che variano tra 9 e 12  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ . Inoltre, ovviamente, i valori monitorati sono influenzati degli effetti provocati dal transito dei mezzi. Per queste ragioni le tecniche di depurazione dei fattori di disturbo sono molteplici. Innanzitutto, la misura deve essere effettuata in prima mattina, quando si inverte l'andamento termico e si crea una zona temporale di stabilità termica. In questa fascia oraria, va intensificata la frequenza di misura e con appositi algoritmi si va a costruire la deformazione relativa depurata dagli effetti dinamici prodotti dal transito dei mezzi. L'obiettivo è quello di ricavare, a partire dai numerosi dati acquisiti, un solo singolo valore giornaliero per strumento. Infatti, tenuto conto che il fenomeno della riduzione di precompressione si sviluppa in periodi medio lunghi, si vogliono estrarre pochi dati, ma affidabili e di facile gestione.

Avremo così a disposizione un grafico di più semplice lettura, che non necessita di particolari interpretazioni e che può essere gestito direttamente dagli operatori degli Enti concessionari. Ad oggi, nonostante le varie metodologie di depurazione utilizzate, non si è ancora in grado di depurare completamente gli effetti termici descritti. Si può ottenere però, attraverso le operazioni indicate, un andamento grafico poco alterato dagli effetti termici.

Alterazione che si manifesta con un leggero andamento sinusoidale nell'arco di un anno. Questo risultato consente, dopo alcuni mesi dalla partenza del monitoraggio, di attivare una elaborazione basata sulla linea di tendenza che potrà fornire una previsione nel lungo periodo sull'andamento della riduzione dello stato di precompressione. Linea di tendenza che andrà a migliorare di precisione nel tempo man a mano che si accumuleranno i dati giornalieri.

Riguardo la conoscenza della deformazione assoluta di una trave, la variazione della freccia, sappiamo che tra deformazione relativa orizzontale e deformazione assoluta verticale esiste un rapporto ben identificato e legato, oltre che ai parametri meccanici e geometrici, ai vincoli. Genericamente il rapporto è espresso come  $f = R \epsilon$  e dove, nel caso del semplice appoggio e in condizione di carico distribuito,

$$R = \frac{L^2}{9.6 Y}$$

e dove  $y$  esprime la distanza dall'asse neutro.

Sperimentalmente è possibile ricavare la correlazione tra de-



22

formazione relativa e freccia. Al momento dell'installazione degli strumenti di monitoraggio si può eseguire una prova di carico (anche a carichi ridotti, ma distribuiti, come ad esempio più automobili a simulare un carico distribuito) e rilevare contemporaneamente la freccia in mezzzeria e la deformazione relativa indicata dagli estensimetri posti a monitoraggio. Conosciuto  $R$ , l'andamento di  $\epsilon$  corrisponderà all'andamento di  $f$ .

## Conclusioni

La possibilità di rendere operativa e funzionale la tecnica del rilascio tensionale apre una importante opportunità per chi ha il compito di valutare le condizioni di sicurezza delle opere. La Carota strumentata offre uno strumento fondamentale per la corretta valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici e la tecnica del Provino tronco piramidale consente una verifica delle condizioni attuali delle strutture da ponte a campate composte da travi precomprese, aprendo la strada alla possibilità di monitoraggi semplici ed affidabili per il controllo nel tempo dell'evolversi del degrado. Questa tecnologia innovativa mette in luce l'importanza di affinare le tecniche di diagnostica strutturale. Un passo avanti importante che però non deve far dimenticare che il corretto studio di un edificio esistente passa, inderogabilmente, dalla costruzione di un modello numerico aderente, calibrato sulla base delle risultanze sperimentali, e la Carota strumentata, in questo senso può rappresentare un valido indicatore puntuale della affidabilità delle valutazioni teoriche. Lo stesso si può dire per i ponti. La strumentazione di monitoraggio o la possibilità di conoscere lo stato di sollecitazione attuale non può sostituire la fondamentale esecuzione di ispezioni visive sistematiche [6][7], che rimangono il fondamentale presidio per un sostanziale controllo della sicurezza delle infrastrutture. ■

## Bibliografia

- [1] D. Acierio, G. Ciniglio, 2010, Uni Federico II - *Valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo*.
- [2] European Standard and American Code, Ottobre 2017 - *Variation of in situ concrete strength*.
- [3] G. Pisciak, G.E. Ikins, B. White, Giugno 2013, International Bridge Conference - *Current Practice and New Method*.
- [4] S. Martinello, 4 Emme Service SpA, 2012 - Prove in sito.
- [5] S. Martinello, rivista Galileo, Giugno 2018 - *Sulla efficacia del monitoraggio del comportamento dinamico dei ponti*.
- [6] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Febbraio 2020 - *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti*.
- [7] E. Giangreco, L. Jurina, E. Siviero, S. Tattoni, 2018, CIAS - *Manuale valutazione dello stato dei ponti*.